

KARAKTERISASI FILM PADUAN POLIPROPILEN-KO-ETILEN/POLIBUTILEN SUKSINAT IRADIASI

Nikham

Pusat Aplikasi Teknologi Isotop dan Radiasi (PATIR) - BATAN
Jl. Raya Cinere Pasar Jumat, Jakarta

ABSTRAK

KARAKTERISASI FILM PADUAN POLIPROPILEN-KO-ETILEN/POLIBUTILEN SUKSINAT IRADIASI. Telah dilakukan penelitian tentang karakterisasi film paduan polipropilen-ko-etilen (KPP)/polibutilen suksinat (PBS) dan polipropilen ditempel dengan maleik anhidrat (PP-g-MAH) yang diiradiasi sinar gama. Telah diketahui bahwa kebanyakan polimer paduan yang ada, tidak mudah didegradasi dibawah kondisi lingkungan alam. Untuk mengatasi masalah ini maka perlu dicari jalan keluarnya diantaranya dengan menyiapkan bahan polimer yang mudah didegradasi yaitu memadukan polimer yang tidak mudah didegradasi dan mudah didegradasi. Komposisi paduan KPP/PBS divariasi sebagai berikut; 100/0, 75/25, 50/50, 25/75 dan 0/100 dengan konsentrasi PP-g-MAH 20 % berat, diiradiasi menggunakan sinar gama Co-60 dengan aktivitas 500 kCi pada dosis 0 kGy, 50 kGy, 100 kGy, 150 kGy dan 200 kGy, pada laju dosis 8,2 kGy/jam serta suhu 90 °C. Karakterisasi film iradiasi telah dievaluasi dengan mengukur perpanjangan putus, tegangan putus, degradasi secara enzimatik, penguburan dalam tanah, fraksi gel dan ketahanan terhadap panas. Hasilnya menunjukkan bahwa perpanjangan putus dan tegangan putus film paduan KPP/PBS = 50/50 yang diiradiasi pada dosis 200 kGy masing-masing sekitar 150 % dan 15 MPa. Kehilangan berat film yang sama akibat degradasi dengan enzim lipase selama 8 hari sekitar 2,5 % dan penguburan dalam tanah selama 4 bulan 1,5 mg. Fraksi gel sekitar 42 % dan ketahanan film terhadap panas pada suhu 140 °C adalah 21 jam.

Kata kunci : Sinar gama Co-60, perpanjangan putus, tegangan putus, kehilangan berat, enzim, fraksi gel, ketahanan panas

ABSTRACT

CHARACTERISATION IRRADIATION POLYBLEND FILM OF POLYPROPYLENE-CO-ETHYLENE/POLYPROPYLENE SUCCINATE. The research about characterisation of polypropylene-co-ethylene (CPP) and polybutylene succinate (PBS) with polypropylene grafted with maleic anhydride (PP-g-MAH) polyblend film irradiation has been done. It was known that the most of polymer blend existing is not biodegradable under environment nature. In order to solve the problem is need to search for the solution by degradable polymer i.e. to prepare the blend of non degradable and degradable polymer. The composition blend of CPP/PBS i.e. 100/0, 75/25, 50/50, 25/75 and 0/100 with 20 wt % PP-g-MAH were irradiated by using gamma rays Co-⁶⁰ with activity 500 kCi at doses ; 0, 50, 100, 150, 200 kGy and at dose rate 8,2 kGy/hrs and temperature 90 °C. The characterisation film of gamma rays irradiation results of CPP and PBS with PP-g-MAH. i.e. elongation at break, tensile strength, enzymatic and composting degradation, gel fraction and heat resistance were evaluated. The results showed that elongation at breaks and tensile strength film of CPP/PBS = 50/50 which irradiating at dose 200 kGy i.e. 150 % and 15 MPa respectively. The enzymatic degradation of the same film using lipase AK enzyme during 8 days and composting during 4 months i.e. 2,5 % and 1, 5 mg respectively. The gel fraction and heat resistance film at 140 °C i.e. 42 % and 21 hours respectively.

Key words : Gamma rays ⁶⁰Co, elongation at break, tensile strength, enzyme, weight loss gel fraction, heat resistance

PENDAHULUAN

Telah diketahui bahwa polimer paduan secara komersial diperkenalkan oleh Dow Chemical, kemudian setelah itu penelitian dan pengembangan tentang polimer paduan baru berkembang cepat di seluruh dunia. Keadaan ini disebabkan polimer paduan menunjukkan sifat-sifat unggul melebihi komponen murninya, seperti lebih kuat, lebih fleksibel, lebih tahan terhadap pengaruh

lingkungan, dan persyaratan lainnya yang dipenuhi. Kini ada beberapa ratus jenis polimer paduan yang telah digunakan [1 - 3].

Namun kebanyakan polimer paduan yang ada, tidak mudah terdegradasi pada kondisi lingkungan alam, pada saat pemakaian terakhir. Hal ini akan menimbulkan masalah lain dalam pengelolaan sampah. Untuk mengatasi

masalah tersebut yaitu menjaga kualitas dan kelestarian lingkungan hidup, perlu diproduksi polimer paduan dari bahan sintetik yang mudah didegradasi secara biologis (*biodegradable*). Untuk mencapai tujuan ini, salah satu cara yang mudah adalah dengan mencampur polimer yang tidak dapat didegradasi secara biologis (*nonbiodegradable*) dengan polimer *biodegradable*. Polimer yang demikian mempunyai struktur yang mudah diserang mikroba atau proses hidrolitik [4].

Polipropilen (PP) digunakan sebagai bahan untuk alat-alat kedokteran seperti *syringe*, kateter, kantong transfusi darah dan dialiser untuk pemurnian darah. Alat-alat kedokteran ini sering disterilkan dengan menggunakan sinar gamma Co-60 atau berkas elektron dari akselerator. Selama sterilisasi radiasi, juga selama penyimpanan PP akan mengalami degradasi oksidatif [5, 6]. Untuk mengatasi masalah tersebut beberapa teknologi telah diusulkan. Misalnya *Nucleating Agent* (NA) sering ditambahkan dalam PP untuk memperbaiki penampilan yaitu tembus pandang dan kekerasan [7]. Contoh lainnya adalah kopolipropilen (KPP) yang mengandung etilen 2,5 % PP berat molekul tinggi dan PP diperoleh secara pendinginan cepat, setelah proses pencetakan panas sehingga akan menunjukkan tahanan radiasi > 100 kGy [8 - 10]. Teknologi yang lain untuk meningkatkan daya tahan radiasi PP yaitu dengan menambahkan *mobiliser* atau radikal *scavenger* [1, 11].

Namun demikian paduan polimer *nonbiodegradable* dan *biodegradable* tidak kompatibel terutama jika dua polimer ini dicampur, maka akan menghasilkan produk heterogen dengan perlekatan antar permukaan relatif lemah dan oleh sebab itu menunjukkan penampilan sifat mekanik yang buruk. Agar dua jenis polimer tersebut dapat kompatibel, maka diperlukan kompatibiliser, yang dalam penelitian ini menggunakan polipropilen yang ditempel dengan maleik anhidrat (PP-g-MAH). Komponen jenis ini bekerja sebagai kompatibiliser antar permukaan dimana bagian rantai-rantai kopolimer mengikat secara fisika atau kimia dengan salah satu polimer dan dengan bagian lainnya. Untuk mengetahui dua jenis polimer ini kompatibel, biasanya ditunjukkan dengan adanya polimer blok, acak, atau kopolimer tempel [12 - 13].

Hipotesis penelitian adalah bahwa polimer yang diiradiasi sinar gama akan mengalami ikatan silang, sehingga diharapkan menghasilkan polimer yang berkualitas cukup baik, lebih kuat dan diharapkan *biodegradable*. Atas dasar semua ini telah dilakukan penelitian polimer paduan untuk mewujudkan gagasan ini adalah polipropilen-ko-etilen (KPP) dan polibutilen suksinat (PBS) dan polipropilen ditempel dengan maleik anhidrat (PP-g-MAH). Kriteria polimer paduan yang diamati adalah perpanjangan putus, tegangan putus, degradasi secara enzimatis, degradasi dengan cara

penguburan dalam humus, fraksi gel dan ketahanan terhadap panas.

METODE PERCOBAAN

Bahan

Tepung polipropilen-ko-etilen (KPP) yang mengandung 2,5 M % etilen *MFR* (*Melting Flow Rate*) 10 diperoleh dari *Chiso Corporation*, Jepang. Pelet polibutilen suksinat (PBS) *grade* 1010 diterima dari *Showa High Polymer Co. Ltd.*, Jepang. Polipropilen ditempel dengan maleik anhidrat (PP-g-MAH) diperoleh dari *Mitsubishi Chemical Co. Ltd.*, Jepang. Semua bahan yang dipakai tanpa dimurnikan lebih dahulu. Enzim lipase AK yang dipakai dalam proses degradasi berasal dari *Amano Pharmaceutical Industry Co. Ltd.*, Jepang.

Peralatan

Mesin pres digunakan untuk membuat film. Pisau dumbbell dipakai untuk memotong film menjadi sampel menjadi bentuk menurut ASTM 1922-L. Tensi-meter *Strograph-RI* digunakan untuk mengukur perpanjangan putus dan tegangan putus film. Iradiator sinar gama Co-60 dengan aktivitas 500 kCi sebagai sumber energi untuk iradiasi sampel film. Oven dipakai sebagai alat uji untuk menentukan stabilitas panas sampel film. Alat ekstraksi dipakai untuk analisis fraksi sol-gel film.

Persiapan Polimer Paduan

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium *Takasaki Radiation Chemistry Research Establishment*, JAERI Jepang. Komposisi paduan KPP/PBS divariasi sebagai berikut 100/0, 75/25, 50/50, 25/75 dan 0/100 dengan konsentrasi PP-g-MAH; 0 %, 10 %, 15% dan 20 % berat. Sampel paduan sekitar 50 g digiling dengan menggunakan *Laboplastomill* buatan Toyoseiki Co. Ltd., Jepang. Penggilingan dilakukan pada suhu 200 °C dengan kecepatan pisau putar 30 rpm dan waktu pencampuran sekitar 8 menit. Setelah penggilingan selesai, sampel paduan yang sudah meleleh, dikeluarkan secepatnya dan didinginkan pada suhu kamar. Sampel paduan dibuat film dengan ketebalan 0,5 mm dibawah tekanan 150 kg/cm² pada suhu 200 °C selama 3 menit dan pemanasan awal selama 3 menit, kemudian didinginkan dibawah tekanan sekitar 100 kg/cm² dengan sirkulasi air mengalir selama 5 menit.

Iradiasi Sampel

Sampel berbentuk dumbbell berukuran standar dalam tabung reaksi berdiameter 2,5 cm, divakumkan hingga 10⁻³ Torr, kemudian disegel. Iradiasi dilakukan dengan menggunakan sinar gama Co-60 dengan aktivitas 500 kCi pada dosis 0 kGy,

50 kGy, 100 kGy, 150 kGy, 200 kGy dengan laju dosis 8,2 kGy/jam dan suhu 90 °C.

Pengukuran Sifat Mekanik

Pengukuran sampel ini dilakukan di Laboratorium yang sama seperti tersebut di atas. Film sampel paduan dipotong menjadi berbentuk dumbell sesuai ASTM 1822-L. Untuk menentukan tegangan putus dan perpanjangan putus diukur dengan menggunakan Stograph RI buatan Toyoseiki Co. Ltd., Jepang, pada kecepatan crosshead 100 mm/menit pada suhu kamar sekitar 20 °C.

Degradasi Film Secara Enzimatis

Degradasi film secara enzimatis dari paduan polimer KPP/PBS dan PP-g-MAH, dilakukan dalam larutan dengan komposisi sebagai berikut; 0,2 M buffer fosfat pH 7,0 4,0 mL, 0,1 % $MgCl_2$ 1,0 mL dan 10 mg/mL enzim lipase 1,0 mL [14]. Film sampel dengan dimensi (10 x 10 x 0,5) mm, dikeringkan dalam oven vakum pada suhu 40 °C selama 48 jam. Sampel kemudian dimasukkan ke dalam tabung reaksi dengan diameter 15 mm yang berisi 6 mL paduan larutan, kemudian diinkubasi pada suhu 60 °C sambil digoyang selama waktu tertentu. Sampel yang telah diinkubasi dikeluarkan dari tabung dan dicuci dengan air suling, kemudian dengan metanol, selanjutnya dikeringkan dalam oven vakum pada suhu 40 °C selama 24 jam. Degradasi secara enzimatis dinyatakan dengan presentase kehilangan berat [5].

$$\text{Kehilangan berat} = (W_0 - W_1)/W_0 \times 100 \% \quad (1)$$

Dalam hal ini W_0 dan W_1 berturut-turut adalah berat film sebelum dan sesudah uji enzimatis.

Degradasi Film Dalam Kompos

Uji degradasi film paduan KPP/PBS yang ditempel dengan PP-g-MAH dilakukan dalam kompos, dan komposisinya sebagai berikut; 1/3 bagian kompos daun, 1/3 bagian tanah kolam dan 1/3 bagian tanah kebun [3]. Film sampel berbentuk dumbell dengan ketebalan 0,5 mm, dikeringkan dalam oven vakum pada suhu 40 °C selama 48 jam, lalu ditimbang. Sampel kemudian dikubur dalam kompos dengan kedalaman sekitar 5 cm selama 4 bulan. Sampel yang telah dikubur dikeluarkan dari dalam kompos, dicuci dengan air dan metanol, selanjutnya dikeringkan dalam oven vakum pada suhu 40 °C selama 24 jam, lalu ditimbang lagi. Degradasi dinyatakan dengan persentase kehilangan berat, dihitung dengan rumus [12].

$$\text{Kehilangan berat} = (W_0 - W_1)/W_0 \times 100 \% \quad (2)$$

Dalam hal ini W_0 dan W_1 berturut-turut adalah berat film sebelum dan sesudah uji pengomposan.

Analisis Sol-Gel

Untuk menghilangkan bagian terlarut atau tidak berikatan silang (fraksi sol) sampel iradiasi diekstraksi dengan menggunakan pelarut yang sesuai. Untuk melarutkan KPP digunakan xylene dan PBS dengan kloroform. Ekstraksi dilakukan sekitar 30 jam dalam xylene dan kemudian dalam kloroform dalam waktu yang sama. Setelah diekstraksi sampel film diangkat dan dikeringkan pada suhu ruang, kemudian diteruskan dalam oven vakum hingga berat stabil. Fraksi sol ditentukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut;

$$\text{Fraksi sol (s)} = (W_0 - W_{\text{eks.}})/W_0 \quad (3)$$

dan fraksi gel (g) dihitung menurut persamaan berikut;

$$\text{Fraksi gel (g)} = (1 - s) \times 100 \% \quad (4)$$

dimana :

W_0 = berat sampel sebelum diekstraksi

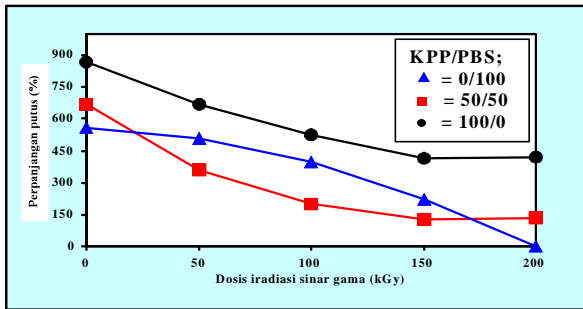
$W_{\text{eks.}}$ = berat sampel setelah diekstraksi

Pengukuran Stabilitas Film Terhadap Panas

Sifat mekanik ketahanan terhadap panas sampel film iradiasi diukur menggunakan oven pada berbagai suhu. Film berukuran (0,3 x 1 x 0,05) cm digantung dalam oven dengan diberi beban 10 g dan suhu 140 °C sampai dengan 200 °C. Selanjutnya film diamati perubahan perpanjangan putus dan waktu yang diperlukan untuk putus saat digantung dalam oven tersebut.

HASIL DAN PEMBAHASAN

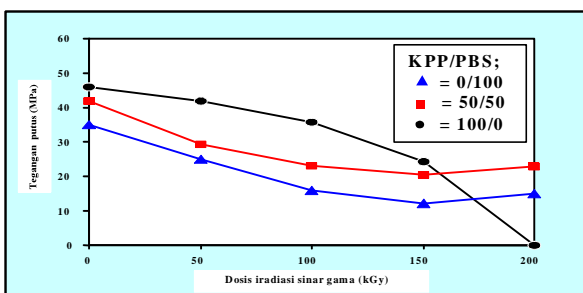
Perpanjangan putus dan tegangan putus film setelah diiradiasi. Hasil pengukuran perpanjangan putus film paduan KPP/PBS dan 20 % PP-g-MAH yang diiradiasi dalam kondisi vakum dan suhu 90 °C dapat dilihat pada Gambar 1. Sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1, bahwa perubahan perpanjangan putus film paduan polimer tergantung kepada dosis iradiasi dan komposisi paduan. Film yang mengandung KPP tinggi (KPP/PBS = 100/0), menunjukkan penurunan cukup tajam hingga dosis 150 kGy, kemudian terlihat stabil pada dosis 200 kGy dengan nilai perpanjangan putus sekitar 450 %. Film paduan KPP/PBS = 50/50 juga menunjukkan penurunan cukup tajam, kemudian stabil pada dosis 200 kGy dengan nilai sekitar 150 % dan film tanpa KPP (KPP/PBS = 0/100), penurunannya sangat tajam hingga dosis 200 kGy mencapai 0 %. Dari data tersebut terlihat bahwa film paduan KPP/PBS=50/50 menunjukkan peningkatan perpanjangan putus terutama pada dosis 200 kGy, dibanding film paduan KPP/PBS = 0/100. Penambahan 20 % berat



Gambar 1. Perpanjangan putus film paduan KPP/PBS dan 20 % PP-g-MAH yang diiradiasi dalam kondisi vakum dan suhu 90 °C.

PP-g-MAH didasarkan pada hasil penelitian terdahulu, karena jika penambahan PP-g-MAH berlebihan maka ada kemungkinan rantai molekul terkonsentrasi pada permukaan, sehingga akan mempengaruhi sifat mekanik film tersebut [14, 15].

Hasil pengukuran tegangan putus film paduan KPP/PBS dan 20 % PP-g-MAH yang diiradiasi dalam kondisi vakum dan suhu 90 °C dapat dilihat pada Gambar 2. Sebagaimana terlihat pada Gambar 2, bahwa perubahan tegangan putus dipengaruhi oleh dosis radiasi dan komposisi paduan polimer. Film yang mengandung KPP tinggi (KPP/PBS = 100/0) dan KPP/PBS=50/50 tegangan putusnya menurun cukup tajam sejalan dengan dosis iradiasi hingga dosis 150 kGy, namun pada dosis 200 kGy terlihat mulai naik masing-masing sekitar 22 MPa dan 14 MPa. Sedangkan film tanpa KPP (KPP/PBS = 0/100), penurunan tegangan putusnya sangat tajam hingga dosis 200 kGy mencapai nilai 0 MPa. Nilai perpanjangan putus dan tegangan putus tergantung komposisi paduan. Setelah diiradiasi nampak menurun hingga dosis 150 kGy, hal ini dimungkinkan belum terbentuk ikatan silang secara maksimal, namun pada dosis 200 kGy nampak stabil, mungkin pada dosis ini pembentukan ikatan silang mulai meningkat.



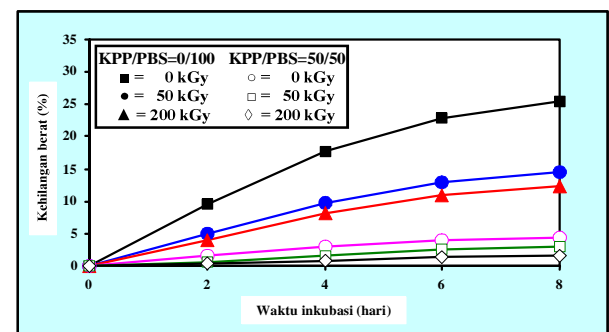
Gambar 2. Tegangan putus film paduan KPP/PBS dan 20 % PP-g-MAH yang diiradiasi dalam kondisi vakum dan suhu 90 °C.

Efek radiasi pada polimer meliputi pembentukan produk gas, reduksi, eksitasi, dan produksi tak jenuh baru. Tetapi dua reaksi yang menyebabkan perubahan utama dalam sifat-sifat polimer adalah pemotongan ikatan rantai utama (degradasi) dan pembentukan ikatan kimia antara molekul polimer berbeda (*cross-linking*).

Mekanisme ikatan mungkin bervariasi diantara polimer-polimer yang berbeda. Diperkirakan ada tiga proses utama pembentukan radikal. Pertama, pembelahan ikatan C-H pada satu rantai polimer untuk membentuk atom hidrogen, diikuti dengan abstraksi atom hidrogen kedua dari rantai tetangganya untuk menghasilkan hidrogen. Kemudian dua radikal polimer yang berdekatan bergabung untuk membentuk ikatan silang. Ke dua, migrasi posisi radikal yang dihasilkan oleh pembelahan ikatan C-H sepanjang rantai-rantai polimer hingga dua darinya berdekatan, kemudian bergabung membentuk ikatan silang. Ke tiga, reaksi kelompok tak jenuh dengan atom hidrogen untuk membentuk radikal-radikal polimer yang dapat bergabung [16].

Degradasi film iradiasi secara enzimatik. Untuk mengetahui laju degradasi secara enzimatik, maka dalam penelitian ini dipakai enzim lipase AK yang berasal dari bakteri *Pseudomonas fluorescens*. Enzim ini dapat didefinisikan sebagai katalis protein aktif yang bekerja dalam kondisi khusus. Aktivitas enzim dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti suhu, larutan bufer, pH, substrat dan konsentrasi enzim [17].

Hasil efek iradiasi terhadap kehilangan berat akibat degradasi secara enzimatik film paduan KPP/PBS dengan 20 % berat PP-g-MAH, yang diinkubasi sekitar 60 °C ditunjukkan dalam Gambar 3. Kecepatan degradasi naik cukup tajam setelah film diinkubasi selama 8 hari. Film paduan KPP/PBS = 0/100 tanpa iradiasi kehilangan berat hingga sekitar 25 %, sedangkan film tersebut yang diiradiasi pada dosis 200 kGy, kehilangan berat hingga sekitar 12 %. Sebaliknya film paduan KPP/PBS = 50/50 tanpa iradiasi sekitar 15 % dan film yang diiradiasi pada dosis 200 kGy hanya sekitar 1 %. Dari data ini dapat diketahui bahwa perlakuan iradiasi dapat memberi efek terhadap laju degradasi film tersebut.

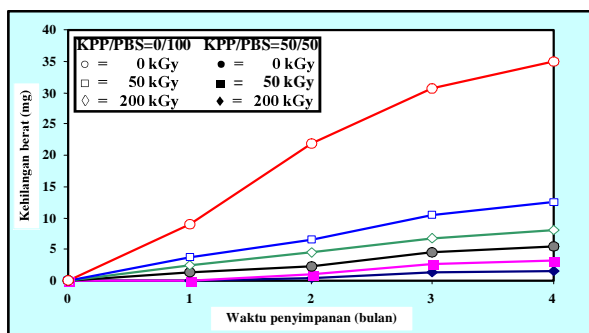


Gambar 3. Kehilangan berat film paduan KPP/PBS dan 20 % PP-g-MAH iradiasi, kemudian diinkubasi dalam enzim lipase pada suhu 60 °C.

Juga dapat dipahami bahwa kerusakan film akibat degradasi secara enzimatik, terjadi secara erosi di permukaan film, dan bagian amorf. Bagian amorf merupakan bagian dalam rantai polimer yang ikatan silangnya tidak terlalu kompleks sehingga lebih mudah diserang oleh enzim. Film paduan dengan kandungan PBS tinggi (KPP/PBS = 0/100) dengan 20 %

PP-g-MAH ada kemungkinan bagian amorfnya lebih banyak sehingga kehilangan beratnya lebih banyak daripada film paduan dengan kandungan PBS rendah (KPP/PBS = 50/50).

Degradasi film iradiasi di dalam kompos. Hasil efek pengomposan terhadap kehilangan berat film paduan KPP/PBS dengan 20 % berat PP-g-MAH ditunjukkan dalam Gambar 4. Kecepatan degradasi meningkat cukup tajam setelah diinkubasi selama 4 bulan. Dalam hal ini film tanpa iradiasi dengan kandungan PBS tinggi (KPP/PBS = 0/100) setelah pengomposan selama 4 bulan, mengalami kehilangan berat hingga sekitar 35 %, yang diiradiasi pada dosis 200 kGy, mengalami kehilangan berat hingga sekitar 12 %. Namun film dengan kandungan PBS lebih rendah yaitu paduan KPP/PBS = 50/50 tanpa iradiasi hanya sekitar 7 % dan yang diiradiasi pada dosis 200 kGy sekitar 1 % saja. Adapun film paduan KPP/PBS = 100/0 dan KPP/PBS = 50/50 tanpa mengalami pengomposan (kontrol) yaitu yang disimpan dalam ruang terbuka tidak mengalami kehilangan berat sama sekali.



Gambar 4. Kehilangan berat film paduan KPP/PBS dan PP-g-MAH 20 % setelah perlakuan pengomposan selama 4 bulan.

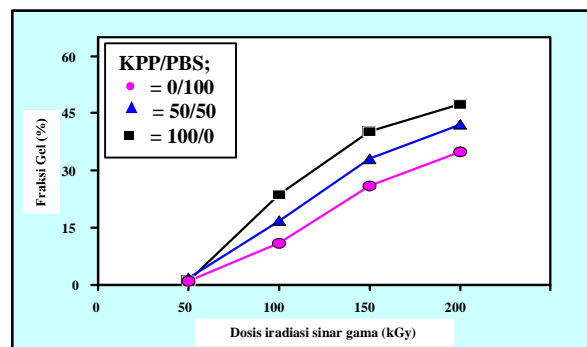
Hasil pengamatan terlihat bahwa degradasi secara pengomposan, menyebabkan kerusakan secara acak di permukaan film dan bagian amorf. Dalam hal ini ada kemungkinan bagian amorf film paduan KPP/PBS = 0/100 lebih banyak dibanding KPP/PBS = 50/50, sedangkan film yang tidak mengandung PBS, tidak ada bagian amorfnya. Dengan demikian, untuk film yang kandungan PBS lebih banyak menyebabkan kehilangan beratnya setelah proses pengomposan lebih tinggi. Pada pengomposan selama 3 bulan, film yang hanya mengandung PBS saja, penampilan permukaannya rusak sekali, sedangkan film paduan KPP/PBS = 50/50 penampilannya sudah tidak normal. Jadi, film yang mengandung polimer PBS lebih banyak mengalami kehilangan berat lebih besar dibanding film yang mengandung PBS lebih sedikit. Dari kenyataan ini dapat diduga bahwa kerusakan film tersebut disebabkan oleh mikroba dalam kompos. Hasil penelitian ini memberi informasi bahwa film paduan KPP/PBS dan PP-g-MAH merupakan bahan yang cukup biodegradabel. Jadi, paduan KPP/

PBS dengan PP-g-MAH dapat dijadikan sebagai bahan alternatif untuk menggantikan bahan yang *nonbiodegradable*.

Umumnya pengertian *biodegradable* melibatkan mikroba yang merusak rantai polimer sehingga menghasilkan mineralisasi (CO_2 di bawah kondisi aerob dan CO_2 serta metana di bawah kondisi anaerob). Hal ini meliputi aksi langsung dari enzim katabolik dalam hidrolisis dan oksidasi, atau aksi tidak langsung dari efek kedua dalam lingkungan polimer seperti perubahan pH. Pengertian *biodegradable* ini dibedakan dari biodeteriorasi atau deteriorasi, dimana film polimer menjadi berkeping-keping karena efek biologis atau lingkungan seperti air, radiasi, atau kekuatan mekanik. Kecepatan *biodegradable* dipengaruhi oleh banyak faktor lingkungan seperti spesies mikroba, banyaknya populasi mikroba dan distribusi populasi mikroba. Karakteristik komponen film polimer seperti struktur, morfologi, kiralinitas, gugus fungsi, kelarutan dan berat molekul juga mempengaruhi kecepatan biodegradasi [13].

Fraksi Gel Film Iradiasi

Hasil penentuan fraksi gel film paduan KPP/PBS dan 20 % PP-g-MAH, setelah diiradiasi dapat dilihat pada Gambar 5. Gambar ini menunjukkan bahwa fraksi gel film tersebut meningkat sejalan dengan peningkatan dosis iradiasi. Di sini film dengan kandungan PBS tinggi (KPP/PBS = 0/100) yang diiradiasi pada dosis 200 kGy fraksi gelnnya sekitar 32 %, film paduan KPP/PBS = 50/50 sekitar 43 % dan film dengan kandungan KPP tinggi (KPP/PBS = 100/0) sekitar 47 %. Jadi film paduan polimer KPP/PBS = 50/50 dengan 20 % PP-g-MAH yang diiradiasi pada dosis 200 kGy dapat menghasilkan fraksi gel yang lebih tinggi, dibanding film paduan KPP/PBS = 0/100.



Gambar 5. Fraksi gel film paduan KPP/PBS dan 20 % PP-g-MAH yang diiradiasi dalam kondisi vakum dan suhu 90 °C

Efek iradiasi pengion terhadap polimer menghasilkan ikatan silang dan pemutusan rantai. Akhir proses ini menyebabkan pembentukan suatu gel tak larut, jika ikatan silang lebih banyak dari pada pemutusan rantai. Radiasi pada suhu 90 °C (titik leleh PBS) dan

dalam kondisi vakum akan menghasilkan kandungan gel lebih banyak dari pada suhu lebih rendah. Pada suhu 90 °C polimer diubah dari bentuk kristalin menjadi amorf sempurna. Hal ini dapat dipahami karena ikatan silang dengan mudah terbentuk di daerah amorf daripada daerah kristalin. Pengaruh suhu iradiasi pada pembentukan gel meningkat dengan cepat di atas titik leleh dan kemudian setelah itu turun. Dari kenyataan ini, ditunjukkan bahwa efisiensi ikatan silang sebagian besar dipengaruhi oleh suhu selama iradiasi. Ketika suhu naik dan mencapai titik leleh, derajat kristalinitas akan meningkatkan bagian leleh dari kristal [18]. Kondisi demikian di arena ini akan mempermudah meningkatkan ikatan silang antar rantai polimer.

Ketahanan Film Terhadap Panas

Ketahanan film iradiasi terhadap panas ditentukan dengan mengukur kerusakan film pada suhu tertentu dengan berbagai beban atau pada suhu berbeda dengan beban tetap dan juga dengan pengukuran sifat mekanik pada suhu tinggi. Hasil penentuan ketahanan terhadap panas film paduan KPP/PBS dengan 20 % PP-g-MAH setelah diiradiasi dapat dilihat pada Tabel 1. Pada Tabel ini dapat dilihat bahwa ketahanan panas film menurun sejalan dengan kenaikan suhu. Film yang diiradiasi cenderung lebih tahan terhadap panas, dibanding film

tanpa iradiasi. Jadi, dalam hal ini perlakuan radiasi dapat meningkatkan ketahanan film terhadap panas.

Sebagai contoh, film paduan dengan kandungan PBS tinggi (KPP/PBS = 0/100) sebelum diiradiasi lalu dipanaskan pada suhu 140 °C dapat bertahan hanya sekitar 0,47 menit, sedang film yang telah diiradiasi pada dosis 200 kGy bertahan sekitar 39,43 menit. Namun film paduan KPP/PBS = 50/50 pada perlakuan sama, sebelum diiradiasi tahan sekitar 889,00 menit atau 14,8 jam dan setelah diiradiasi pada dosis 200 kGy dapat tahan sekitar 1281,50 menit atau 21,35 jam. Dengan demikian efek iradiasi dapat meningkatkan ketahanan panas film ini sekitar 44 %. Untuk film paduan lainnya yaitu dengan kandungan KPP tinggi (KPP/PBS = 100/0) juga dengan perlakuan sama, sebelum diiradiasi daya tahannya sekitar 870,20 menit atau 14,5 jam, sedangkan yang diiradiasi pada dosis 200 kGy bertahan sekitar 1064,57 menit atau 17,73 jam, jadi mengalami peningkatan sekitar 22 %. Film yang diiradiasi pada dosis 200 kGy, kemungkinan terjadi ikatan silang lebih tinggi daripada film yang diiradiasi pada dosis lebih kecil dari dosis tersebut. Dengan demikian film ini lebih tahan terhadap panas daripada film lainnya. Dari tiga macam film paduan tersebut, maka film paduan KPP/PBS = 50/50 mempunyai daya tahan terhadap panas suhu 140 °C, cenderung paling tinggi dibanding film paduan lainnya.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian karakterisasi film paduan KPP/PBS dapat disimpulkan bahwa :

1. Film paduan polimer KPP/PBS = 50/50 yang diiradiasi dengan sinar gama lebih baik daripada film paduan KPP/PBS = 0/100 atau 100/0.
2. Iradiasi pada dosis 200 kGy lebih baik untuk pembentukan ikatan silang pada film daripada dosis 50 kGy dan 100 kGy.
3. Perpanjangan putus dan tegangan putus film paduan KPP/PBS = 50/50 lebih baik daripada film paduan KPP/PBS = 0/100.
4. Kehilangan berat film yang sama akibat degradasi dengan enzim lipase selama 8 hari lebih tinggi daripada penguburan dalam tanah selama 4 bulan.
5. Fraksi gel film paduan KPP/PBS = 50/50 yang diiradiasi pada dosis 200 kGy lebih tinggi daripada film paduan KPP/PBS = 0/100, dan demikian juga ketahanan film terhadap panas pada suhu 140 °C lebih tinggi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada rekan-rekan di Laboratorium Proses Radiasi TRCRE JAERI Jepang yang telah membantu penelitian ini dan rekan-rekan di kelompok Iradiator Gama yang telah membantu iradiasi sampel selama

Tabel 1. Ketahanan panas (menit) film paduan polimer KPP/PBS dengan 20 % PP-g-MAH iradiasi

KPP/PBS/ PP-g-MAH	Dosis (kGy)	Suhu (°C)			
		140	160	180	200
0/5/1	0	0,47	0,27	0,20	0,20
5/5/2	0	889,00	1,02	0,25	0,27
5/0/1	0	870,20	1,05	0,23	0,23
0/5/1	50	1,00	0,37	0,27	0,24
5/5/2	50	966,50	1,07	0,30	0,28
5/0/1	50	906,26	1,03	0,32	0,27
0/5/1	100	1,22	0,53	1,15	0,25
5/5/2	100	989,05	1,23	1,33	0,50
5/0/1	100	972,30	1,27	1,20	1,02
0/5/1	150	4,47	3,35	2,23	2,13
5/5/2	150	1027,05	22,38	5,28	2,08
5/0/1	150	990,50	6,27	2,47	1,02
0/5/1	200	39,43	4,20	3,07	2,22
5/5/2	200	1281,50	44,50	9,20	3,12
5/0/1	200	1064,57	9,02	3,12	2,18

penelitian berlangsung. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Kepala Bidang Proses Radiasi PATIR BATAN serta rekan-rekan di Kelompok Bahan Kesehatan, atas dukungan moril dan bantuan yang telah diberikan sehingga penelitian ini dapat diselesaikan.

DAFTARACUAN

- [1]. KUBO, J., and OTSUHA, K., *Radiation Physic and Chemistry*, **39** (1992) 261
- [2]. ARTHUR, J. Y., *Multicomponent Polymer System*, (Ed., R. F. GOULD), ACS Publication, Washington DC (1971) 3
- [3]. PLOCHOCKI, A. P., *Polymer Blends* (Eds., D. R. PAUL and S. NEWMAN) Academic Press, New York, Vol. 3 (1978) 322
- [4]. UTRACKI, L. A., *Polymer Plastic Technology and Engineering*, **22** (1) (1984) 27
- [5]. DUNN, T. S., EPPERSON, B. J., SUGG, H., STANNETT, V. and WILLIAMS, J. L., *Radiation Physic and Chemistry*, **14** (1979) 625
- [6]. NISHIMOTO, S., KAGIYA, T., WATANABE, W., and KATO, M., *Polymer Degradation and Stability*, **14** (1986) 99
- [7]. KADIR, Z. A., YOSHII, F., KAKUUCHI, K. and ISHIGAKI, I., *Polymer*, **30** (1989) 1425
- [8]. YOSHII, F., SASAKI, T., MAKUUCHI, K., and TAMURA, N., *Journal Application Polymer and Science*, **30** (1985) 339
- [9]. YOSHII, F., MAKUUCHI, K. and ISHIGAKI, I., *Polymer Communication*, **29** (1988) 146
- [10]. YOSHII, F., MAKUUCHI, K., and ISHIGAKI, I., *Journal Application Polymer and Science*, **32** (1986) 5669
- [11]. DUNN, T. S., WILLIAMS, E. E., and WILLIAMS J. L., *Journal Polymer and Science*, **20** (1982) 1599.
- [12]. PAUL, D. R. M. and NEWMAN, S., *Polymer Blends* (Eds., D. R. PAUL and S. NEWMAN), Academic Press, New York, Vol. 2 (1978) 40
- [13]. FAYT, R., JEROME R and TEYSSIE, PH., *Journal Polymmer and Science, (C)* **27** (1989) 775
- [14]. FAYT, R., JEROME, R. AND TEYSSIE, PH., *Journal Polymer Science, Polymer Physic*, **20** (1982) 2209.
- [15]. GORELIK, B. A., SOKOLOVA, L. A., GRIGORIEV, A. G., KOSHELEN, S. D. SEMENENKO, E. I., MATIUSHIN, G. A. and RYCHLA, L., *Macromolecule Chemistry, Macromolecule Symposium*, **28** (1989) 249
- [16]. O'DONNELL, J. H. AND SANGSTER, D. F., *Principles of Radiation Chemistry*, Edward Arnold (Publisher) Ltd, London (1970) 113-127
- [17]. TORREY, S., *Enzyme Technology, Preparation, Purification, Stabilisation, Immobilisation Recent Advances*, Noyes Data Corporation, USA (1983) 3
- [18]. BERGMAYER, H. U., *Determination of Enzyme Activities in Methods of Enzymatic Analysis*, (BERGMAYER, H. U., Ed.), Vol. 1, Verlag Chemie Weinheim, Academic Press Inc. (1974) 127